

## くいちがい弾性転位論を用いた断層近傍の地表面変位シミュレーション

神戸大学工学部 正会員 高田 至郎  
神戸大学大学院 学生員 北村 至

### 1.はじめに

断層運動によって、その両側の地殻は変形を受ける。そのうち、断層線をまたいで地表面の動きは断層ずれとして目に見えるが、断層から離れた地表面の変形は一般には見ることができない。地表面変形の様子を探るもっとも有効で確実な方法は水準測量や三角測量などの測地測量や、人工衛星によるGPSを用いる方法などがある。断層の運動と地表面変形の関係についての研究は未だ明らかにされていない部分も多い。

Steketee(1958)は‘くいちがい弾性論’の考えをもとに、地震時の断層モデルから地表面変位を推定する式を提案しているが、本研究では1999年9月21日に発生した台湾集集地震、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震の2つの断層モデルに適用する方法を提案して地表面変位を算出し、実際のGPSデータとの比較検討をおこなった。

### 2.くいちがいの弾性転位論と地表変位の算定式

本研究で用いたSteketeeのくいちがい弾性論<sup>3)</sup>について概述する。まず、無限および半無限の非

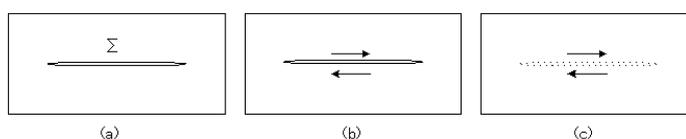


図-1 くいちがい弾性理論の概念

荷重状態で等方性を示す弾性領域を考える。くいちがい面とは、媒質内で変位の不連続（ここでは断層）を持つ領域のことであり、そのイメージは、図-1(a)~(c)の形成手順によって概念的に理解される。まず、(a)弾性体の中にカットを入れて、内部境界をつくり、2つの面 $+$ 、 $-$ とし、(b)カットの両面を滑らせてそれぞれの面の相対変位 $u^+$ 、 $u^-$ を考慮し、(c)最後に両面を相対変位させた位置で密着させ、この境界面で歪んだ状態をせん断くいちがいと考える。両面の相対変位の関係は、 $u = u^+ + u^-$ と表される。

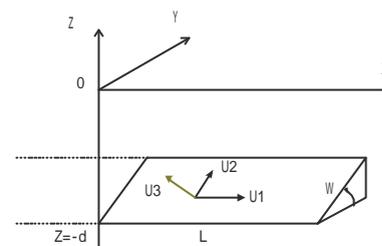


図-2 Source Model

上述のくいちがいの弾性転位論にもとづく、面における転位 $u_i$ ( $i=1, 2, 3$ )による変位領域 $u_i(x_1, x_2, x_3)$ は以下で示される。

$$u_i = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j \left[ \mathbf{I} d_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial x_n} + \mathbf{m} \left( \frac{\partial u_i^j}{\partial x_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial x_j} \right) \right] u_k d\Sigma \quad (1)$$

(ここに $\mu$ はラメの定数、 $d_{jk}$ はクロネッカーの $\delta$  ( $k=1$ のとき1,  $k \neq 1$ のとき0)で、 $u_{j,k} = u_j / x_k$ 、そして $F$ は地震マグニチュードであり、 $F=8 \mu(1+2\mu)/(1+\mu)$ )である。

上式を長さ $L$ 、幅 $W$ の長方形断層に適用する(図-2参照)。走行、傾斜及びそれらに直交する三方向成分について転位(断層面の滑り)を与え、それぞれの方向の地表面変位量を算出する。

### 3. 地震の概要

表-1 地震の概要

下に今回シミュレーションをおこなった2つの地震の概要を示す。台湾集集地震においては、車籠埔断層が活動したことにより発生したとされている。この断層系は、逆断層系であり、東側の地殻が西側へ約30°の低角で乗り上げ、上盤は平均して1-4m上昇した。兵庫県南部地震においては、淡路島西岸に沿う野島断層に明瞭な右横ずれ変位が発生し、断層の南東側が0.5m隆起した。

	台湾集集地震	兵庫県南部地震
マグニチュード	7.7(Ms)	7.2(MJMA)
地震モーメント(dynecm)	$2.4 \times 10^{27}$	$2.5 \sim 3.1 \times 10^{27}$
震源深さ(km)	11(Kikuchi&Yagi)	16
震央位置	23.85°N 120.78°E	34.60°N 135.04°E

キーワード：弾性転位論，断層，地表変位

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 神戸大学工学部 TEL (078)881-1212

### 4. 断層モデル

そこで、台湾集集地震のケースにおいては Yagi & Kikuchi, 1999 による IRIS の遠地記録(11 地点) 兵庫県南部地震のケースには、Yoshida et al., 1996 による強震記録や遠地地震波の実体波記録からインバージョンすることにより求めた断層面上の滑り分布のデータを参考にし(兵庫県南部地震の断層面は淡路側、神戸側の 2 つに分けて考えている)、台湾集集地震のモデルにおいては、断層面を 50(長さ方向 10 × 幅方向 5)個に分割、兵庫県南部地震においては断層面を 40(長さ方向 10(淡路側 4, 神戸側 6) × 幅方向 4)個に分割し、それぞれに、断層すべりの平均値を求め、その分割した断層の様なすべり量とし、表 - 2 のように設定した断層パラメータをシミュレーション式に代入して地表面変位量を個々に求め、合計することにより、最終的な地表面変位量とした。

表-2 断層パラメータ

	台湾集集地震	兵庫県南部地震
L (断層長さ) (km)	100	40(神戸側, 淡路側合わせて)
W (断層幅) (km)	50	12
d (断層深さ) (km)	24	13
(断層の傾斜角)	27°	80°

(地盤条件として S 波速度を 3 km, P 波速度を 6 km, 単位重量を 2tonf/m<sup>3</sup> とした。兵庫県南部地震のは、淡路側では南東傾斜, 神戸側では北西傾斜に設定)。

### 5. シミュレーション結果と考察

シミュレーションで得られた結果のうち、断層線上の地表面変位を縮尺を合わせて地図上にプロットし、GPS データと比較させた。ただ、比較するには、GPS データの観測地点が断層線付近である必要があるが、水平変位に関しては、断層線から離れた地点のデータのみに限られたので、GPS 観地点付近において解析値と変位量について比較をおこなった。

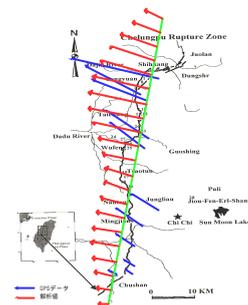
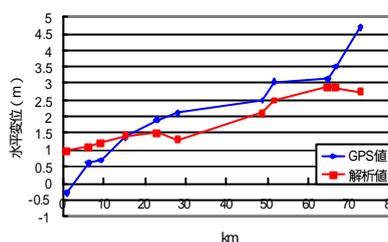


図-3 台湾集集地震における GPS データと解析値の比較(水平変位)

台湾集集地震の水平変位において、断層の右肩部(北部)で起こった大きなすべりにより観測値と解析値の差が大きく表れた。そこで、観測されなかった非常にゆっくりとした流体的なすべりが断層上盤で発生し、断層右肩部に大きなひずみが集積したために、すべりが生じたとの仮定<sup>4)</sup>のもと、断層右肩部分に 5m の断層滑りを与え、解析結果を再び GPS データと比較検討をおこなった。その結果、変位量に関しては、水平方向、鉛直方向共に GPS 値とかなり近い値となった。変位方向に関しては、良い一致を見なかったが、GPS データの変位方向の分布を見ると、変位の一番大きな断層右肩部(北部)に向かっている様子が伺えるので、上述の仮説の妥当性を立証していると考えられる。

兵庫県南部地震においては、水平変位量、鉛直変位量ともに解析値は GPS 値とよく一致した。水平変位の变位方向も図-4 を見ればわかるように、比較的によく一致している。

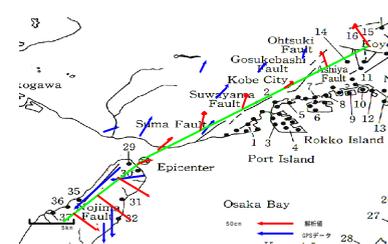
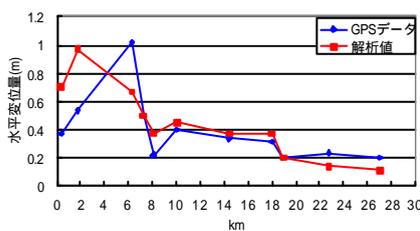


図-3 兵庫県南部地震における GPS データと解析値の比較(水平変位)

### 6. 今後の課題

今回は、2 つの地震を取り上げて断層地表面変位のシミュレーションをおこなった。今後は、断層面上における条件、例えば地震モーメント  $M = \mu DA$ 、 $\mu$  は断層面上の弾性係数、 $D$  は断層面上の最終平均相対変位量、 $A$  は断層面積)と地表面変位との関係について検討する予定である。

#### 【参考文献】

- 1) Wei-Hau Wang: Static stress transfer and aftershock triggering by the 1999 Chi-Chi Earthquake in Taiwan, TAO, Vol11, No3, pp.631-642., 2000
- 2) Yagi, Y and M.Kikuchi: Spatiotemporal distribution of a source rupture process for the Taiwan Earthquake (Ms=7.7), at <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/taiwan/taiwan.html/>, 1999
- 3) Okada, Y.: Surface deformation in a half-space, Bull. Seismo. Soc. Am., pp.1135-1154., 1985
- 4) S.-B. Yu and Y.-A. Liou: GPS unelastic. NW, at [http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/seno/GPS\\_unelastic.NW.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/seno/GPS_unelastic.NW.html), 1999
- 5) 尾知和夫: 総論 1995 年兵庫県南部地震, 阪神・淡路大震災誌, 朝日新聞社編, p1-20, 1996